



PROPIEDADES FÍSICAS E HIDROLÓGICAS DE SUELOS VOLCÁNICOS AFECTADOS POR INCENDIOS RECIENTES EN PATAGONIA, ARGENTINA

Morales D.^{1, 2} ✉, La Manna L.^{1, 2} y Rostagno M.^{2, 3}

¹Centro de Investigación y Extensión Forestal Andino Patagónico y Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco.

²Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).

³Unidad de Investigación Ecología Terrestre, Centro Nacional Patagónico.

✉: dmorales@ciefap.org.ar

Palabras claves:

Austrocedrus chilensis
Fuego
Hidrofobicidad
Humedad equivalente
Materia orgánica

RESUMEN

Los incendios forestales ocasionan importantes impactos sobre el suelo ya que pueden consumir gran parte de la cobertura vegetal y materia orgánica, alterando su fertilidad física y régimen hidrológico. En este trabajo evaluamos algunas propiedades de los suelos de origen volcánico afectados por incendios recientes. Se seleccionaron dos áreas de estudio, correspondientes a bosques de *Austrocedrus chilensis*, ubicadas en las provincias de Chubut y Río Negro, Argentina, afectadas por incendios ocurridos en el 2008 y 2009, respectivamente. En cada sector se identificaron dos niveles de disturbio por fuego y un área control. Se determinó la tasa de infiltración y se tomaron muestras de cuevas del suelo mineral a dos profundidades (0-2.5 cm y 2.5-5 cm) y se evaluó densidad aparente (DA), humedad equivalente (HE), textura, hidrofobicidad y materia orgánica (MO). El paso del fuego produjo una fuerte disminución en los contenidos de MO y HE en los suelos con un alto nivel de disturbio. El fuego aumentó la repelencia al agua, principalmente en los suelos afectados por el incendio más reciente, en los que se detectó una mayor hidrofobicidad en las muestras de 2,5 a 5 cm. Los máximos valores se registraron en los suelos con un alto nivel de disturbio correspondiendo a extremadamente hidrofóbicos. Contrariamente a lo esperado, el fuego no afectó significativamente la DA, infiltración y la textura de los suelos. La evaluación de las modificaciones en el suelo permite interpretar el impacto del fuego sobre la calidad de los suelos y la posterior recuperación de la vegetación.

PHYSICAL AND HYDROLOGICAL PROPERTIES OF VOLCANIC SOILS AFFECTED BY RECENT WILDFIRES IN PATAGONIA

Keywords:

Austrocedrus chilensis
Fire
Available water capacity
Hydrophobicity
Organic matter

SUELOS ECUATORIALES
42 (2): 154-161

ISSN 0562-5351

ABSTRACT

Wildfire cause major impacts on the soil due the loss of vegetation cover and organic matter, altering physical and hydrological soil properties. We evaluated some properties of volcanic soils affected by recent fires. Two study sites with *Austrocedrus chilensis* forests were selected in Chubut and Río Negro provinces, Argentina, which were affected by fires in February 2008 and January 2009, respectively. In each site, two levels of disturbance by fire were identified and unburned soil was used as control. Infiltration rate was determined and samples of the mineral soil at two depths (0-2.5 cm and 2.5-5 cm) were randomly taken for bulk density (BD), available water capacity (AWC), texture, hydrophobicity and organic matter (OM) determinations. The results showed, one year after fire, decrease in OM and AWC in burned soils with high level of disturbance by fire. Hydrophobicity greatly varied, but tended to increase at 2.5-5 cm, mainly in the most recent wildfire. The maximum values were observed in the burned soil with high level of disturbance by fire, being extremely hydrophobic. The wildfire did not significantly affect the texture, bulk density and infiltration rate of soils. The evaluation of changes in physical and hydrological soils properties is useful to assess the impact of fire on soil quality and the subsequent recovery of vegetation. These changes may be very variable according to soil and climatic conditions and characteristics of fire.

Recibido: Julio 15
Revisado: Octubre 15
Aceptado: Noviembre 15

INTRODUCCIÓN

En la Región Andino Patagónica, la frecuencia e incidencia de incendios forestales han generado importantes daños sobre los bosques de la región. *Austrocedrus chilensis* (D. Don) Pic. Sem & Bizarri, especie endémica de estos bosques, es una de las especies más afectadas por el fuego. En Argentina, se distribuye entre los 37°7' y 43°44' de latitud sur (Pastorino *et al.* 2006), abarcando una extensión de 141.000 ha (Bran *et al.* 2002).

El suelo es uno de los recursos más afectados luego del paso del fuego, éste puede consumir gran parte de la cobertura vegetal y mantillo orgánico, provocando importantes cambios en el suelo (DeBano 1990, Pritchett 1986).

Los impactos del fuego en el suelo pueden ser muy variables, dependiendo de la severidad y comportamiento del incendio, del contenido de humedad y del tipo de suelo (Certini 2005).

La disminución del contenido de materia orgánica a consecuencia del fuego afecta los procesos físicos e hidrológicos del suelo, ya que ésta actúa como cementante de las partículas, ocasionando una pérdida de la estructura. Esto a su vez genera cambios en la distribución del tamaño de poros y en la densidad aparente. La textura, fuertemente asociada a la estructura, también puede ser afectada por el fuego, principalmente en incendios de alta severidad (Ketterings *et al.* 2000). Todas estas modificaciones repercuten en la capacidad de retención de agua e infiltración del suelo, con el consecuente incremento de escorrentía y riesgo de erosión (Neary *et al.* 1999, DeBano 1990, Kennard & Gholz 2001).

La hidrofobicidad es otra de las variables que puede ser alterada por los incendios y afectar el comportamiento hidrológico del suelo. Esta propiedad es generada por la vaporización de sustancias orgánicas que, luego de condensadas, forman una capa repelente al agua (DeBano 1981). Diversos estudios establecen la asociación entre este fenómeno y la disminución en la tasa de infiltración, con un consecuente aumento del riesgo de erosión (DeBano 1990, Doerr *et al.* 2000, Shakesby & Doerr 2006).

En la región Andino Patagónica, los depósitos piroclásticos post glaciales constituyen los materiales originarios de la mayoría de los suelos de la región, incluyendo cenizas volcánicas, capas de lapilli, o bien depósitos de origen glacial contaminados con arenas volcánicas (Laya 1977, Ferrer 1981, Apcarian & Irisarri 1993). Estos suelos se caracterizan por la presencia de alófono. Esta arcilla amorfa les otorga a

los suelos una buena fertilidad edáfica y aptitud forestal dado que presentan un alto porcentaje de materia orgánica, principalmente en el horizonte superficial, una elevada capacidad de intercambio catiónico y una gran capacidad de retención hídrica por su alta porosidad y baja densidad aparente (Irisarri & Mendia 1997). Podría esperarse que los impactos del fuego sean menos marcados en estos suelos; sin embargo algunos estudios realizados en bosques quemados de esta región evidenciaron importantes modificaciones edáficas como consecuencia del fuego (Alauzis *et al.* 2004, Kitzberger *et al.* 2005, Urretavizcaya 2010, La Manna & Barrotaveña 2011, Longo *et al.* 2011)

La evaluación de estas modificaciones permite interpretar el impacto del fuego sobre la calidad de los suelos y la posterior recuperación de la vegetación. El objetivo de este trabajo fue evaluar las características fisicoquímicas e hidrológicas de suelos forestales afectados por incendios recientes.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

Se seleccionaron dos áreas de estudio correspondientes a bosques de *A. chilensis* en Argentina. Una de ellas se ubicó en el sudoeste de la provincia de Río Negro, dentro del área afectada por un incendio ocurrido en enero de 2009 en cercanías de la localidad de El Bolsón (41°51'34.2"S, 71°25'12.4"O), cuya superficie afectada fue aproximadamente 1900ha (SAyDS 2009). La otra área de estudio se ubicó en el noroeste de la provincia del Chubut, en cercanías del Parque Nacional Los Alerces (42°58'40.36"S, 71°30'53.04"O). El incendio se denominó La Colisión y ocurrió en febrero del 2008 afectando 6.000 ha aproximadamente (CIEFAP *et al.* 2008) (Figura 1).

En ambas áreas de estudio las precipitaciones son cercanas a 900mm (Cordon *et al.* 1993) concentradas principalmente en época de otoño e invierno. Los suelos son de origen volcánico clasificados como Humic Udivitrands.

La vegetación de esta área de estudio corresponde principalmente a un bosque de *A. chilensis* junto algunas especies representativas del sotobosque como *Maytenus chubutensis* (Speg.) Lourt., O'Don. et Sleum., *Lomatia hirsuta* (Lam.) Diels ex J.F. Macbr., *Schinus patagonicus* (Phil.) I. M. Johnst. y *Aristotelia maqui* (Mol.) Stuntz.

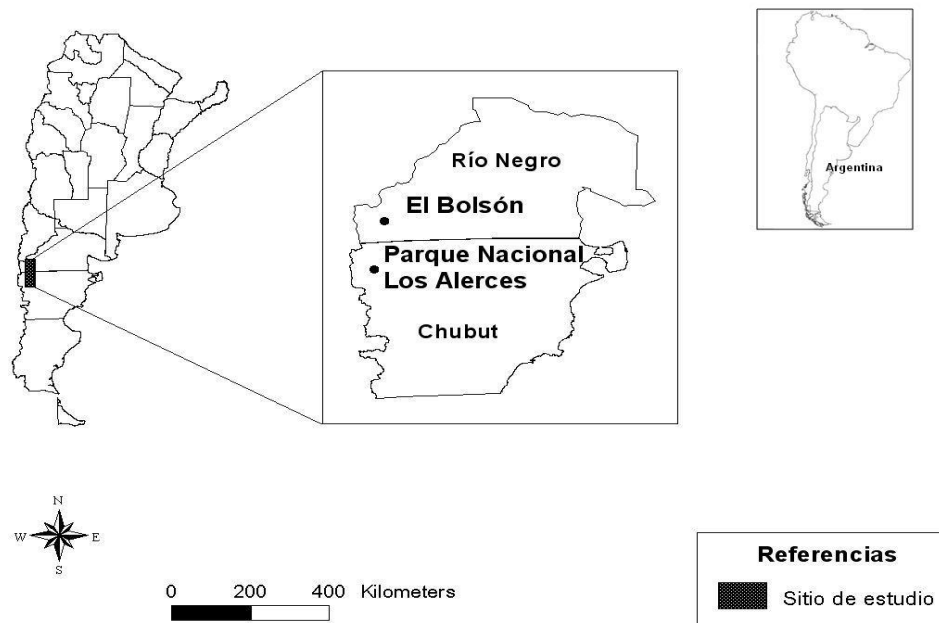


Figura 1. Ubicación geográfica del sitio de estudio

Diseño de muestreo

En cada área de estudio se seleccionó una ladera afectada por fuego con distintos niveles de disturbio (alto y bajo) y un sector no afectado por fuego (control). El nivel de disturbio fue definido de acuerdo a la presencia o no de mantillo orgánico remanente, color del suelo superficial, cobertura vegetal y árboles sobrevivientes (DeBano *et al.* 1998, Fisher & Binkley 2000).

En cada tratamiento se seleccionó un área de aproximadamente 200 m². Dentro de ella se evaluó la tasa de infiltración mediante un infiltrómetro de disco a tensión (Gil 2006) y se tomaron tres muestras compuestas a dos profundidades: de 0 a 2.5 cm y de 2.5 a 5 cm. La profundidad de las muestras fue establecida a partir del criterio de que las alteraciones producidas por los incendios son más evidentes en los primeros centímetros por estar directamente expuestos al calentamiento (DeBano 1990). Las muestras de suelos fueron secadas al aire y tamizadas por malla de 2 mm.

Se evaluó materia orgánica (MO) mediante el método de pérdida por ignición, Davies (1974), humedad equivalente (HE) mediante el método de Richards (1956), textura por el método del Hidrómetro Bouyoucos (1927), densidad aparente (DA) mediante muestras de suelo inalterado extraída con sacabocados e hidrofobicidad del suelo empleando soluciones acuosas con alcohol etílico en distintas proporciones MacDonald & Huffman (2004). Para su interpretación se utilizó la clasificación propuesta por Doerr *et al.* (1998) (Tabla 1).

Tabla 1. Clasificación del grado de repelencia al agua según el porcentaje de etanol.

Clase	Grado de repelencia	% Etanol
1	Muy hidrofílico	0
2	Hidrofílico	3
3	Ligeramente hidrofóbico	5
4	Moderadamente hidrofóbico	8.5
5	Fuertemente hidrofóbico	13
6	Muy fuertemente hidrofóbico	24
7	Extremadamente hidrofóbico	36

Extraída y modificada Doerr *et al.* (1998)

Análisis estadístico

Los datos fueron analizados mediante análisis de la varianza (ANOVA). Aquellas variables que no cumplieron los supuestos de normalidad y homocedasticidad se analizaron mediante la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis y contrastes de a pares mediante la prueba de Comparación de Rangos Medios (Ramsey & Schafer 1997). Los análisis estadísticos se realizaron con el programa InfoStat Statistical Package (Di Rienzo *et al.* 2010).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los incendios forestales analizados produjeron variaciones en los contenidos de MO, HE e hidrofobicidad según los distintos niveles de disturbio. No se observaron diferencias significativas en los valores de DA, tasa de infiltración y textura.

Materia orgánica

El fuego provocó una disminución significativa del horizonte orgánico. Este cambio fue más notable en el incendio más reciente donde la pérdida fue total en los suelos con alto nivel de disturbio (Tabla 2).

El contenido de MO disminuyó en los suelos con una alta incidencia del fuego. De acuerdo a los valores de referencia de la región, todos los suelos presentaron

valores altos de MO (La Manna *et al.* 2011). Los suelos con alto y bajo nivel de disturbio presentaron valores de MO que oscilaron entre 8.5 y 15%, mientras que los suelos control superaron en la mayoría de las muestras analizadas el 17%. En el incendio La Colisión las diferencias fueron más notables que en el incendio ocurrido en El Bolsón. (Figura 2a, 2b).

Tabla 2. Valores medios de espesor de mantillo orgánico. Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0.05$).

Sitio	Mantillo orgánico (cm)		
	Alto	Nivel de disturbio Bajo	Control
La Colisión	0.15(\pm 0.08)a	1.3(\pm 0.25)b	3.1(\pm 0.48)c
El Bolsón	0 a	1.5(\pm 0.30)a	3.75(\pm 0.43)b

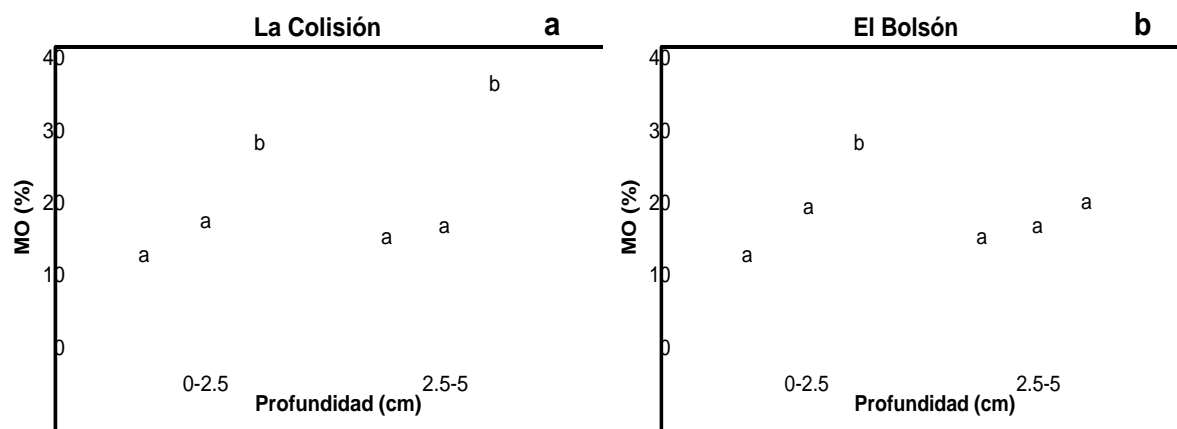


Figura 2. Valores medios y errores estándar del contenido de materia orgánica del suelo a dos profundidades de acuerdo a los distintos niveles de disturbio para La Colisión (a) y El Bolsón (b). Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0.05$). Referencias: niveles de disturbio ■ alto ■ bajo □ control.

La materia orgánica fue afectada en los primeros 5cm. En los suelos quemados, el porcentaje de MO fue significativamente menor con respecto a los suelos control. Normalmente el contenido de MO decrece después del fuego debido a pérdidas por combustión (Cochrane 2009). Dependiendo de la severidad del fuego, la materia orgánica puede sufrir diversos procesos como volatilización, carbonización o incluso una oxidación completa (Certini 2005). Las transformaciones y modificaciones más importantes de la materia orgánica ocurren en un rango de 220-460°C (Giovannini *et al.* 1990).

Diversos trabajos han evidenciado la pérdida de materia orgánica luego de los incendios (Hernández *et al.* 1997, Litton & Santelices 2003, Urretavizcaya 2010). Sin embargo, una revisión de diversos estudios realizada por Johnson & Curtis (2001) les permitió concluir que existiría un efecto positivo a largo plazo

de los incendios forestales, reflejado en un incremento en el contenido de MO del suelo. Este incremento significativo en el contenido de MO fue atribuido a una combinación de factores, incluyendo la incorporación al suelo mineral de los materiales orgánicos no quemados, a la transformación de la materia orgánica fresca a formas más estables y a la colonización de áreas quemadas por plantas fijadoras de nitrógeno.

Humedad equivalente

La HE se redujo significativamente en los suelos afectados por fuego respecto a los suelos control, exceptuando el horizonte de 0-2.5cm de El Bolsón (Figura 3a, 3b). En el incendio La Colisión, la disminución de HE fue más evidente, coincidiendo con la mayor pérdida de MO. En los suelos con alto

nivel de disturbio, la pérdida de retención hídrica, respecto al suelo control, varió entre 57% y 60%, mientras que en los suelos con bajo nivel de disturbio osciló entre 44% y 47%.

La destrucción de la vegetación y de la capa de mantillo altera sustancialmente las propiedades hidrológicas del suelo. Estas alteraciones en la materia orgánica disminuyen la intercepción de las precipitaciones y la capacidad de almacenamiento de agua en el suelo y pueden condicionar el establecimiento y supervivencia de la vegetación, necesaria para la estabilización de los suelos, lo que puede resultar en un aumento de erosión, principalmente en los periodos secos (Neary *et al.* 1999).

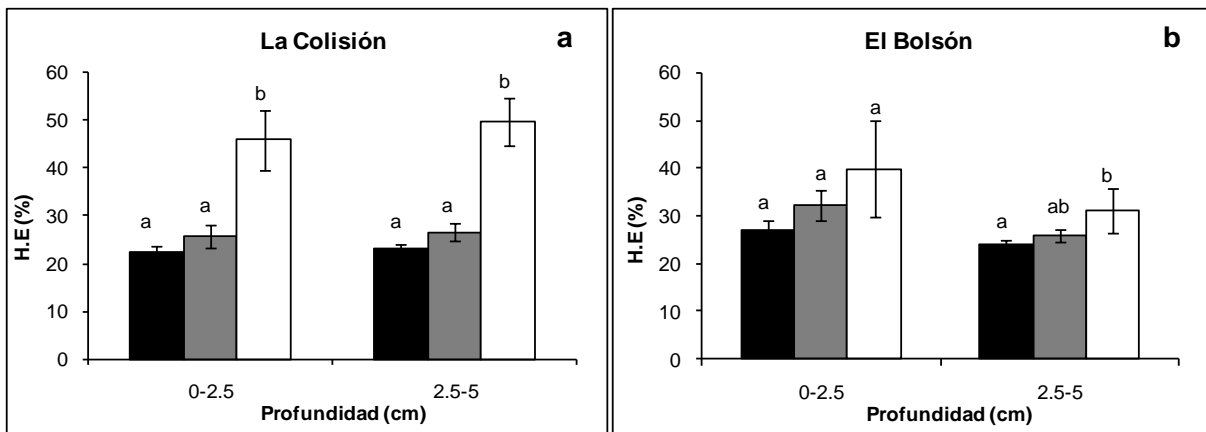


Figura 3. Valores medios y errores estándar de la humedad equivalente del suelo a dos profundidades de acuerdo a los distintos niveles de disturbio para La Colisión (a) y El Bolsón (b). Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0.05$). Referencias: niveles de disturbio ■ alto ■ bajo □ control.

En contraste, en el incendio La Colisión, los suelos control de mayor profundidad mostraron una elevada repelencia al agua, siendo significativamente mayor respecto a los suelos afectados por fuego. La hidrofobicidad de los suelos control varió desde no hidrofóbicos hasta muy fuertemente hidrofóbicos. En los suelos afectados, si bien no se evidenciaron diferencias significativas entre ellos, pudo observarse una tendencia de mayor hidrofobicidad en las muestras de 2.5 a 5 cm (Figura 4d).

Según estudios previos, la repelencia al agua puede ser altamente variable tras los incendios forestales (DeBano *et al.* 1970). No todos los incendios son capaces de generar una capa hidrofóbica en el suelo ya que dependen de la capa del mantillo orgánico, de la intensidad del incendio, del periodo prolongado de calor intenso, de la textura y de la humedad del suelo, pudiendo ocasionar una máxima hidrofobicidad en la época seca y mínima o desaparecer durante la estación húmeda (DeBano 1981). A su vez, como la distribución de la ceniza producto de la quema no es homogénea, es común

Hidrofobicidad

Otra de las variables que influyen en el contenido de humedad del suelo es la hidrofobicidad. En nuestro estudio, si bien la repelencia al agua varió ampliamente en ambos incendios, tendió a incrementarse, como consecuencia del fuego, en el horizonte subsuperficial (Figura 4).

En el incendio más reciente, la hidrofobicidad fue significativamente mayor en los suelos con alto nivel de disturbio por fuego en las muestras de mayor profundidad (2.5 a 5 cm). Los mayores valores de hidrofobicidad alcanzados correspondieron al grado extremadamente hidrofóbicos (Figura 4a, 4b).

encontrar que las características que se vean afectadas por la adición de la ceniza también sean variables.

De acuerdo a nuestros resultados, la formación de una capa repelente luego de ocurrido el incendio, tuvo lugar principalmente por debajo de la capa más superficial. Después de que el fuego ha pasado, continua el movimiento del calor hacia abajo, a través del suelo, pudiendo volatilizar las sustancias hidrofóbicas que se encuentran en su interior, lo que resulta en la formación de una capa repelente al agua por debajo y paralela a la superficie del suelo en el área quemada (DeBano 2000).

Por otra parte, aún en los suelos no afectados por fuego también se evidenció una alta repelencia al agua, lo cual podría estar asociado a las características intrínsecas del material original de estos suelos (Jaramillo 2004). Los suelos que tienen poros grandes, tales como los suelos arenosos son más susceptibles a la formación de capas hidrofóbicas ya que transmiten el calor con mayor facilidad que aquellos con texturas más finas (USDA 2000). En la Región Patagónica, la mayoría de los suelos volcánicos presentan una alta

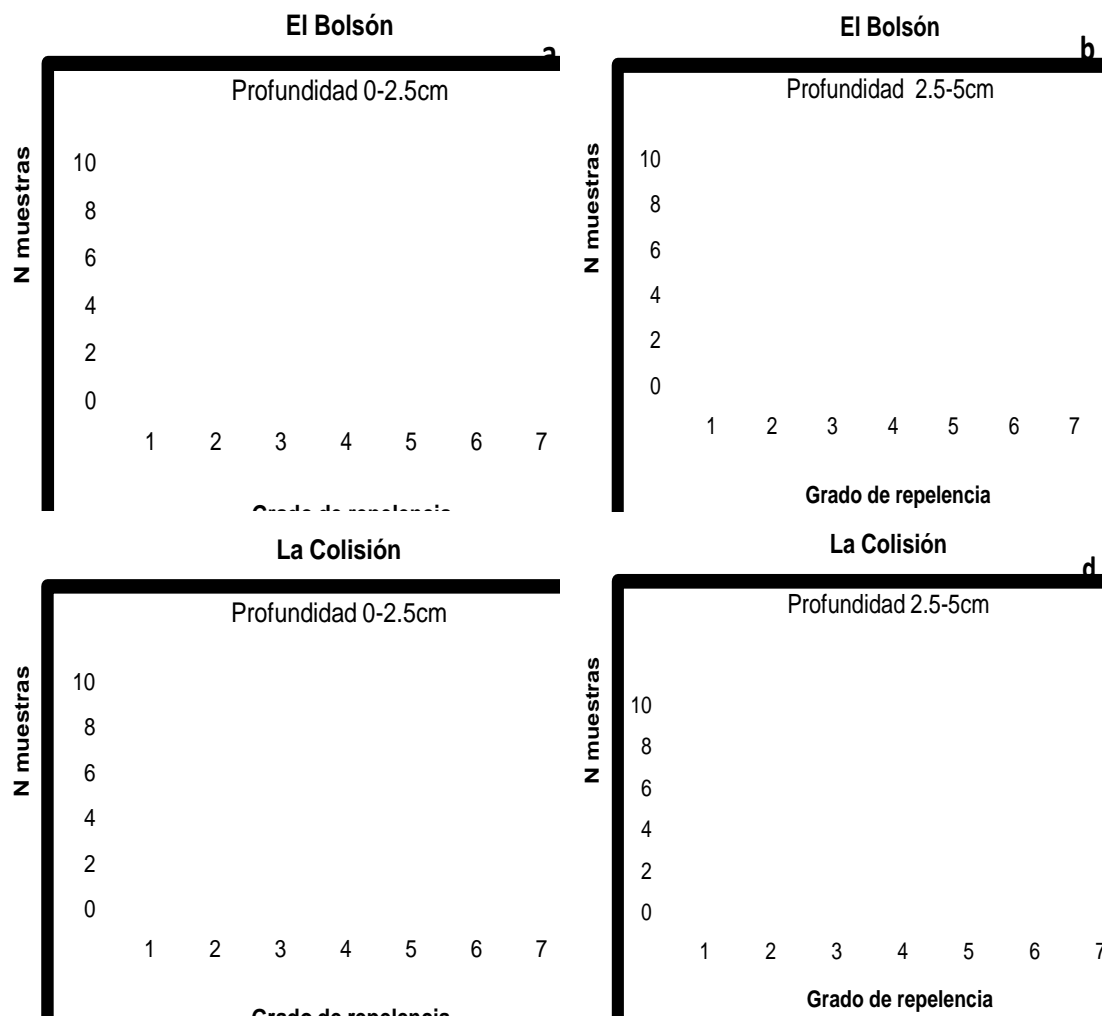


Figura 4. Grado de repelencia al agua según los distintos niveles de disturbio y profundidad en La Colisión y El Bolsón. Referencias: niveles de disturbio ■ alto ■ bajo □ control. Los valores del grado de repelencia se explicitan en la tabla 1.

macro-porosidad (Irisarri & Mendia 1997), por lo que quizás éste sea también un factor que contribuya a la formación de una capa hidrófoba en los suelos.

Tasa de infiltración

En nuestro estudio, a pesar que se observó la formación de una capa repelente al agua en los suelos, la tasa de infiltración no fue afectada significativamente luego del paso del fuego. Se observó una amplia variación en la tasa de infiltración. En los suelos afectados por fuego los valores variaron desde 0.9 cm h⁻¹ hasta 10 cm h⁻¹, mientras que en los suelos de control los valores oscilaron entre 1.1 cm h⁻¹ y 8.5 cm h⁻¹.

Algunos autores encontraron un comportamiento similar. Molina Terren (1993) menciona que una de las causas por las cuales no se observaron cambios en la tasa de infiltración en suelos quemados, fue debida a que las intensidades de fuego y consumo de

combustibles no fueron elevados dado el alto contenido de agua en el mantillo orgánico del suelo. Estudios realizados en España tampoco evidenciaron diferencias en la tasa de infiltración en suelos afectados por incendios respecto a los suelos control (González-Pelayo *et al.* 2010).

Sin embargo, trabajos previos realizados en bosques de *A. chilensis* evidenciaron una disminución en la tasa de infiltración en los suelos afectados por fuego a partir de ensayos de lluvia simulada (Morales *et al.* 2010).

Textura

El fuego no afectó significativamente el tamaño de partículas de los suelos estudiados.

Los suelos presentaron textura franco arenosa, y esta textura se mantuvo en los suelos quemados con contenidos medios de arena de 58%, limo 36% y arcilla 6%. En los suelos control los contenidos

medios fueron: fracción arena 61%, limo 32% y arcilla 6%.

Similar resultado fue reportado por Arocena & Opio (2003). Esto podría estar asociado a que la intensidad y severidad del incendio no fueron tan elevadas. Las modificaciones en la textura han sido evidenciadas en algunos estudios cuando el suelo es sometido a temperaturas superiores a los 500°C en un largo periodo de tiempo, produciéndose la pérdida de grupos OH de las arcillas (Giovannini *et al.* 1988, Ketterings *et al.* 2000). En otros casos, los cambios en la textura ocasionados por el fuego resultan de forma indirecta, a partir de una eliminación selectiva de la fracción más fina del suelo por escurrimiento, dejando el suelo erosionado con una textura más gruesa (Shakesby 2011).

Densidad aparente

A pesar de que se observó una significativa pérdida del contenido de MO en los suelos afectados por fuego, esta disminución no se reflejó en la densidad aparente. Todos los suelos presentaron valores bajos de densidad aparente, con una media de 0.51 g cm⁻³ en el incendio ocurrido en el 2008 y de 0.61 g cm⁻³ en el incendio 2009. De acuerdo a los valores de referencia de la Región Andino Patagónica, aún en los suelos quemados, los valores de MO fueron adecuados, lo cual junto a la presencia de alófono, explicaría la baja densidad aparente de estos suelos (Irisarri & Mendia 1997).

CONCLUSIONES

Los impactos de los incendios recientes sobre las propiedades físicas e hidrológicas de los suelos volcánicos analizados fueron muy variables. Si bien el fuego provocó una disminución en los contenidos de MO, ésta se mantuvo en niveles altos, de acuerdo a los valores de referencia para estos suelos. Igualmente produjo una disminución en la humedad equivalente y un aumento en la hidrofobicidad, principalmente debajo de la capa del suelo superficial. Contrariamente a lo esperado, el fuego no afectó de manera significativa la textura, densidad aparente e infiltración de los suelos.

El conocimiento de estas modificaciones en los suelos, producidas por los incendios, es imprescindible para determinar los riesgos de erosión, pudiendo ser muy variables de acuerdo a las condiciones edafoclimáticas y las características del incendio.

Agradecimientos. Este trabajo fue financiado con fondos del proyecto Picto FoncyT-agencia N° 36860.

REFERENCIAS

- ALAUZIS M, MAZZARINO M, RAFFAELE E, ROSELLI L (2004) Wildfires in NW Patagonia: long term effects on a *Nothofagus* forest soil. *Forest Ecology and Management*.192: 131-142.
- APCARIAN A, IRISARRI J (1993) Caracterización mineralógica de suelos desarrollados sobre cenizas volcánicas en las provincias de Neuquén y Río Negro (R.A.). *Actas II Jornadas de Vulcanología, Medio ambiente y Defensa Civil*. Zapala, Neuquén. 23 p.
- AROCENA J, OPIO C (2003) Prescribed fire-induced changes in properties of sub-boreal forest soils. *Geoderma* 113: 1–16.
- BOUYOCOS G (1927) The Hydrometer as new method for the mechanical analysis of soils. *Soil Science* 23:343-353.
- BRAN D, PÉREZ A, BARRIOS D, PASTORINO M, AYEZA J (2002) Eco-región valdiviana: distribución actual de los bosques de “ciprés de la cordillera” (*Austrocedrus chilensis*) –Escala 1:250000. INTA, APN, FVSA. Bariloche.
- CERTINI G (2005) Effects of fire on properties of forest soils: a reviews. *Oecologia*. 143: 1-10.
- CIEFAP, DGBYP, FIRE PARADOX, MIAG ESQUEL, PNLA (2008) Informe de base para la restauración post-fuego “Incendio La Colisión”, PN Los Alerces, Esquel y Trevelin. 24p.
- COCHRANE M (2009) Tropical fire ecology: climate change, land use, and ecosystem dynamics. Springer-Praxis Books in Environmental Sciences. Germany. 645 p.
- CORDON V, FORQUERA J, GASTIAZORO J (1993) Estudio microclimático del área cordillerana del sudoeste de la Provincia de Río Negro. Universidad Nacional del Comahue. Cinco Saltos, Neuquén. 17 p.
- DAVIES B (1974) Loss-on ignition as an estimate of soil organic matter. *Soil Science Proceedings*. 38, 150.
- DeBANO L (1981) Water repellent soils: a state of the art. Gen. Tech. Rep. PSW-46. Berkeley, Calif.: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Southwest Forest and Range Exp. Stn. 21 p
- DeBANO L (1990) The effect of fire on soil properties. Symposium on Management and Productivity of Western-Montane Forest Soil, Boise, ID.
- DeBANO L (2000) The role of fire and soil heating on water repellency in wildland environments: a review. *Journal of Hydrology*. 231–232: 195–206.
- DeBANO L, NEARY D, FFOLLIOTT P (1998) Fire's effects on ecosystems. John Wiley y Sons, New York, New York, USA. 333p.
- DI RIENZO J, CASANOVES F, BALZARINI M, GONZALEZ L, TABLADA M, ROBLEDO C (2010) InfoStat versión. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>.
- DOERR S, SHAKESBY R, WALSH R (1998) Spatial variability of soil water repellency in fire-prone eucalyptus and pine forest, Portugal. *Soil Science*, 163:313-324.

- DOERR S, SHAKESBY R, WALSH R (2000). Soil water repellency: its causes, characteristics and hydrogeomorphological significance. *Earth-Science* 51:33–65.
- FERRER J (1981) Geografía y propiedades de los suelos de la Patagonia. Relatorio. Actas Primeras Jornadas de Suelos de Patagonia. Neuquén y San Carlos de Bariloche.
- FISHER R, BINKLEY D (2000) Ecology and management of forest soils. Wiley, New York. 489 pp.
- GIL R (2006) Permeámetro de disco. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Boletín N° 418. Buenos Aires.
- GIOVANNINIG, LUCCHESI S, GIACHETTI M (1988) Effect of heating on some physical and chemical parameters related to soil aggregation and erodibility. *Soil Science*, 146: 255-262.
- GIOVANNINI G, LUCCHESI S, GIACHETTI M (1990) Effects of heating on some chemical parameters related to soil fertility and plant growth, *Soil Sci.* 149 (1990) 344–350.
- GONZÁLEZ-PELAYO O, ANDREU V, GIMENO-GARCÍA E, CAMPO J, RUBIO J (2010) Effects of fire and vegetation cover on hydrological characteristics of a Mediterranean shrubland soil. *Hydrological Processes* 24: 1504–1513.
- HERNÁNDEZ T, GARCÍA C, REINHARDT I (1997) Short-term effect of wildfire on the chemical, biochemical and microbiological properties of Mediterranean pine forest soils. *Biology and Fertility of soils*, 25: 109-116.
- IRISARRI J, MENDÍA J (1997) Relaciones suelo-paisaje en la evaluación de la potencialidad forestal de la Región Central Andino Patagónica, Argentina. *Bosque* 18(1): 21-30.
- JARAMILLO D (2004) Repelencia al agua en suelos con énfasis en Andisoles de Antioquia. Universidad Nacional Colombia sede Medellín. 204p.
- JOHNSON D, CURTIS P (2001) Effects of forest management on soil C and N storage: meta analysis. *Forest Ecology and Management*. 140: 227–238.
- KENNARD D, GHOLZ H (2001) Effects of high- and low-intensity fires on soil properties and plant growth in a Bolivian dry forest. *Plant and Soil*. 234: 119- 129.
- KETTERINGS Q, BIGHAM J, LAPERCHE V (2000) Changes in soil mineralogy and texture caused by slash-and-burn fires in Sumatra, Indonesia. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64:1108-1117.
- KITZBERGER T, RAFFAELE E, HEINEMANN K, MAZZARINO M (2005) Effects of fire severity in a north Patagonian subalpine forest. *Journal of Vegetation Science*. 16:5-12.
- LAYA H (1977) Edafogénesis y paleosuelos de la formación típica Río Pireco (Holoceno). *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 32 (1): 6-23.
- LA MANNA L, BARROTAVEÑA C (2011) Propiedades químicas del suelo en bosques de *Nothofagus antarctica* y *Austrocedrus chilensis* afectados por fuego. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Cuyo* 43 (1):41-55.
- LA MANNA L, BUDUBA C, IRISARRI J, FERRARI J, CREMONA M (2011) Los nutrientes del suelo en la Región Andino Patagónica: una aproximación a la interpretación de datos analíticos. *Patagonia Forestal* XVII (3): 7-8.
- LITTON C, SANTELICES R (2003) Effect of wildfire on soil physical and chemical properties in a *Nothofagus glauca* forest, Chile. *Revista Chilena de Historia Natural* 76: 529-542.
- LONGO M, URCELAY C, NOUHRA E (2011) Long term effects of fire on ectomycorrhizas and soil properties in *Nothofagus pumilio* forests in Argentina. *Forest Ecology and Management*. 262 (3): 348-354.
- MACDONALD L, HUFFMAN E (2004) Post-fire soil water repellency: persistence and soil moisture thresholds. *Soil Science Society of American Journal*. 68: 1729-1734.
- MOLINA TERREN D (1993) Efectos del fuego controlado en la velocidad de infiltración del agua en suelos forestales: Un caso de estudio en la costa norte de California. *Investigación Agraria Sistema Recursos forestales*. 2:2.
- MORALES D, ROSTAGNO C, LA MANNA L (2010) Impacto del fuego sobre el comportamiento hidrológico del suelo en un bosque de ciprés. *Patagonia Forestal*, XVI (2):23-24.
- NEARY D, KLOPATEK C, DEBANO L, FFOLLIOUTT P (1999) Fire effects on belowground sustainability: a review and synthesis. *Forest Ecology and Management* 122: 51-71.
- PASTORINO M, FARIÑA M, BRAN D, GALLO L (2006) Extremos geográficos de la distribución natural de *Austrocedrus chilensis* (Cupressaceae). *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica* 41: 307-311.
- PRITCHETT W (1986) Suelos Forestales: propiedades, conservación y mejoramiento. Editorial Limusa, México D.C., México. 634 p.
- RAMSEY F, SCHAFFER D (1997) *The Statistical Sleuth: a course in methods of data analysis*. Duxbury Press, Belmont, USA. 742 p.
- RICHARDS L (1956) Sample retainers for measuring water retention by soil. *Soil Science Society of America Proceedings* 20:301-303.
- SAYDS (2009) Informe Áreas afectadas por incendios en la Región Andino Patagónica Provincias de Río Negro y Tierra del Fuego.
- SHAKESBY R (2011) Post-wildfire soil erosion in the Mediterranean: Review and future research directions. *Earth Science Reviews* 105, 71-100.
- SHAKESBY R, DOERR S (2006) Wildfire as a hydrological and geomorphological agent. *Earth-Science* 74: 269–307.
- URRETAVIZCAYA F (2010) Propiedades de suelos en bosques quemados de *Austrocedrus chilensis* en Patagonia, Argentina. *Bosque*. 31(2): 140-149.
- USDA (2000) Preocupación acerca del recurso de calidad de suelos: Hidrofobicidad. Instituto de Calidad de Suelos del Servicio de Conservación de Recursos Naturales del Departamento de Agricultura de EE.UU. Washington. 2p.